

(19) 日本国特許庁 (J.P.)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-64799

(P2001-64799A)

(43) 公開日 平成13年3月13日 (2001.3.13)

(51) Int.Cl.  
C 25 F 3/00  
B 23 H 3/08  
C 25 D 11/02

識別記号

F I  
C 25 F 3/00  
B 23 H 3/08  
C 25 D 11/02

テマコト (参考)  
C 3 C 0 5 9

審査請求 未請求 請求項の数 6 O.L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平11-241869

(22) 出願日 平成11年8月27日 (1999.8.27)

(71) 出願人 596041995

森 勇蔵  
大阪府交野市私市8-16-19

(71) 出願人 000000239

株式会社荏原製作所  
東京都大田区羽田旭町11番1号

(72) 発明者 森 勇蔵

大阪府交野市私市8丁目16-19

(72) 発明者 白樺 充彦

東京都大田区羽田旭町11番1号 株式会社  
荏原製作所内

(74) 代理人 100091498

弁理士 渡邊 勇 (外2名)

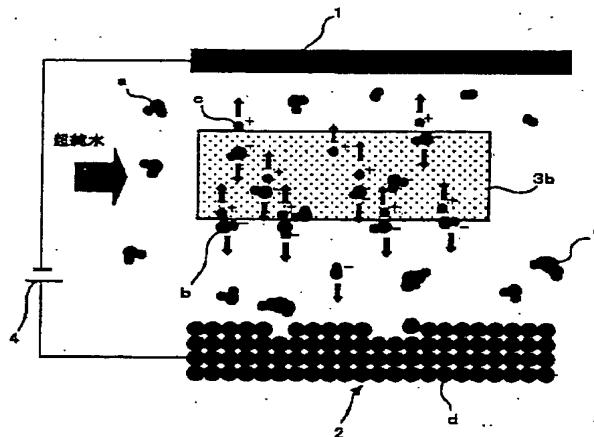
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電解加工方法及び装置

(57) 【要約】

【課題】 超純水中の水酸化物イオンを用いて被加工物の加工面に不純物を残さない清浄な加工を行なうことができる加工方法を提供する。

【解決手段】 超純水中に、被加工物である陽極2と、これに所定の間隔を置いて対向する陰極1とを配置し、前記被加工物と前記陰極との間に、超純水の解離を促進するとともに通水性を有する触媒部材3bを配置し、被加工物と陰極間に電圧を印加しつつ該触媒部材内に超純水の流れを形成することによって、超純水中の水分子を水素イオンと水酸化物イオンに分解し、生成された水酸化物イオンを被加工物表面に供給して、水酸化物イオンによる化学的溶出反応もしくは酸化反応によって被加工物の除去加工もしくは酸化被膜形成加工を行なう。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】超純水中に、被加工物である陽極と、これに所定の間隔を置いて対向する陰極とを配置し、前記被加工物と前記陰極との間に、超純水の解離を促進するとともに通水性を有する触媒部材を配置し、被加工物と陰極間に電圧を印加しつつ該触媒部材内に超純水の流れを形成することによって、超純水中の水分子を水素イオンと水酸化物イオンに分解し、生成された水酸化物イオンを被加工物表面に供給して、水酸化物イオンによる化学的溶出反応もしくは酸化反応によって被加工物の除去加工もしくは酸化被膜形成加工を行なうことを特徴とする電解加工方法。

【請求項2】前記触媒部材が、イオン交換能を付与した不織布であることを特徴とする請求項1に記載の電解加工方法。

【請求項3】前記触媒部材を陰極もしくは陽極のいずれか一方に接触させ、かつ残りの一方から離間させて配置することを特徴とする請求項1又は2に記載の電解加工方法。

【請求項4】前記触媒部材を、被加工物（陽極）と陰極の両極に接するよう被加工物と陰極の間に配置することを特徴とする請求項1又は2に記載の電解加工方法。

【請求項5】電解加工を、前記被加工物と陰極の間に超純水を一方向に流しながら行なうことを特徴とする請求項1から4のいずれかに記載の電解加工方法。

【請求項6】超純水を保持する加工槽と、前記加工槽内に陰極と被加工物を担持する手段と、被加工物と陰極の間に触媒部材を固定する手段と、陰極と被加工物の間に電圧を印加する手段と、前記加工槽内に超純水を供給して前記不織布内に超純水の流れを形成する超純水供給装置と、電解加工によって生成した不純物を含む排水を加工槽の外に排出する手段を有することを特徴とする電解加工装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、超純水中の水酸化物イオンによる加工方法に係わり、更に詳しくは電解液に超純水のみを用いて、そのイオン積を著しく増大させて、水酸化物イオンによって被加工物を除去加工もしくは酸化被膜形成加工ができる電解加工方法及び電解加工装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、科学技術の発展のもとに新材料の開発が次々と進んでいるが、それらの新材料に対する有効な加工技術は未だ確立されておらず、常に新材料開発の後を追う立場となっている。

【0003】また、最近ではあらゆる機器の構成要素において微細化かつ高精度化が進み、サブミクロン領域での物作りが一般的となるにつれて、加工法自体が材料の

特性に与える影響はますます大きくなっている。このような状況下においては、従来の機械加工のように工具が被加工物を物理的に破壊しながら除去していく加工法では、加工によって被加工物に欠陥を多く生み出してしまうため、被加工物の特性は劣化する。従って、いかに材料の特性を損なうことなく加工を行うことができるかが問題となってくる。

【0004】この問題を解決する手段として先ず開発された特殊加工法に、化学研磨や電解加工、電解研磨がある。これらの加工法は、従来の物理的な加工とは対照的に、化学的溶出反応を起こすことによって、除去加工を行うものである。従って、塑性変形による加工変質層や転位等の欠陥は発生せず、前述の材料の特性を損なわずに加工を行うといった課題が達成される。

【0005】そして、更に注目されているのが、原子間の化学的な相互作用を利用した加工法である。これは、微粒子や化学反応性の高いラジカル等を利用した加工法である。これらの加工法は、被加工物と原子オーダでの化学反応により除去加工を行うため、原子オーダの加工制御が可能である。この加工法の例としては、本発明者が開発したEEM (Elastic Emission Machining) やプラズマCVM (Chemical Vaporization Machining) がある。EEMは、微粒子と被加工物間の化学反応を利用したもので、材料の特性を損なうことなく原子オーダの加工を実現している。また、プラズマCVMは、大気圧プラズマ中で生成したラジカルと被加工物とのラジカル反応を利用したもので、原子オーダの加工を実現している。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】ところで、前述の電解加工や電解研磨では、従来は被加工物と電解液 (NaCl, NaNO<sub>3</sub>, HF, HCl, HNO<sub>3</sub>, NaOH等の水溶液) との電気化学的相互作用によって加工が進行するとされている。また、電解液を使用する限り、その電解液で被加工物が汚染されることは避けられない。

【0007】そこで、本発明者は、中性及びアルカリ性の電解液では水酸化物イオン (OH<sup>-</sup>) が加工に関与していると考え、それならば微量の水酸化物イオンが存在している水によっても加工はできるとの考えにいたり、更に実験的にも加工可能性を確認し、特開平10-58236号公報にて、微量の不可避不純物を除き超純水のみを用い、これにイオン積を増大させる水酸化物イオン増加処理を施す方法を提案した。

【0008】この方法によれば、水酸化物イオンの濃度が増大した超純水中に浸漬した被加工物を、水酸化物イオンによる化学的溶解反応もしくは酸化反応によって除去加工もしくは酸化被膜形成加工する。また、水酸化物イオン増加処理としてイオン交換機能または触媒機能を有する固体表面での電気化学反応を利用することも提案している。これにより、超純水中の水酸化物イオンを利

用して加工面に不純物を残さない、清浄な加工を行うことができる斬新な加工方法が創出されたのである。この加工方法の用途は、半導体製造分野をはじめ、非常に広いと予測される。

【0009】しかし、超純水中に含まれる水酸化物イオン濃度は、非常に希薄であり、25°C、1気圧において  $10^{-7}$  mol/1程度であることは周知の事実であり、従来のイオン交換膜によって水酸化物イオン密度を増大させても高々  $10^3$  ~  $10^4$  倍程度であって、これは1NのNaOHのイオン密度の  $1/10^4$  ~  $1/10^3$  であり、実用的な加工を実現するには未だ加工速度は低すぎる。

【0010】そこで、本発明が、前述の状況に鑑みて解決しようとするところは、被加工物の加工面上での水酸化物イオン密度を更に増加させるとともに、水酸化物イオンと結合した被加工物の原子を速やかに加工面から除去することによって加工速度を上げ、超純水中の水酸化物イオンを用いて被加工物の加工面に不純物を残さない清浄な加工を行なうことができる加工方法を提供する点にある。

#### 【0011】

【課題を解決するための手段】本発明は、前述の課題を解決するためになされたもので、請求項1に記載の発明は、超純水中に、被加工物である陽極と、これに所定の間隔を置いて対向する陰極とを配置し、前記被加工物と前記陰極との間に、超純水の解離を促進するとともに通水性を有する触媒部材を配置し、被加工物と陰極間に電圧を印加しつつ該触媒部材内に超純水の流れを形成することによって、超純水中の水分子を水素イオンと水酸化物イオンに分解し、生成された水酸化物イオンを被加工物表面に供給して、水酸化物イオンによる化学的溶出反応もしくは酸化反応によって被加工物の除去加工もしくは酸化被膜形成加工を行なうことを特徴とする電解加工方法である。

【0012】図1は、本発明の加工原理を示すもので、超純水中に、被加工物2を陽極とし、これと対向する陰極1を配置し、これらの間に触媒部材であるイオン交換能を付与した不織布3を配している。そして、被加工物2と陰極1とに電源4を接続し、超純水中の水分子aをイオン交換材料3で水酸化物イオンbと水素イオンcに分解し、生成された水酸化物イオンbを被加工物2と陰極1間の電界と、超純水の流れによって被加工物表面に供給して被加工物近傍の水酸化物イオンの密度を高め、被加工物原子dと水酸化物イオンbとを反応させる。

【0013】反応によって生成された反応物質eは超純水中に溶出し、被加工物2の表面に沿った超純水の流れによって被加工物2から除去する。これにより、被加工物2の表面層の除去加工が行われる。また、被加工物原子dと水酸化物イオンbとの酸化反応によって被加工物表面に清浄な酸化被膜を形成することで酸化被膜形成加

工を行い、その集積によって目的とする形状を得るよう用いることもできる。

【0014】この方法では、被加工物表面近くに設置されたイオン交換機能または触媒機能を有する固体表面での化学反応によって水酸化物イオンbを生成するので、このような水酸化物イオンbを発生する固体材料表面近傍の被加工物表面が優先的に加工される。従って、この加工進行部を移動させれば被加工物2の表面を所望の表面形状に加工することができる。

【0015】また、水酸化物イオンbを発生させるイオン交換材料3の形状を被加工物表面に転写する、いわゆる転写加工も可能である。また、水酸化物イオンbを発生させるイオン交換材料3の形状が線状である場合には、板状材料の切断加工が可能である。そして、水酸化物イオンbの供給量等の加工パラメーターを調節することによって、被加工物3表面で誘起される反応が酸化反応であるか、除去加工反応であるかを選択することができる。

【0016】このような触媒部材を用いる本発明と、イオン交換膜を用いる従来法とを比較して説明する。従来法の場合は、図2で示すように、イオン交換膜3aの内部に水素イオンcは移動できるが、水酸化物イオンbや水分子aは移動し難い。このため、水の電解によって生成する水酸化物イオンbは主にイオン交換膜3aの表面で発生し、イオン交換膜内部の活性点が使われていない状態にある。従って、イオン交換膜3aでは水酸化物イオンbの生成効率が充分とは言えず、両極間に流れる電流も低いものであった。

【0017】しかし、イオン交換能を付与した不織布3bのような、通水性で、ある程度体積を有する触媒部材を用いる本発明では、図3に示すように、不織布3bの内部に水が充分流れるため、内部の活性点も水の電解に利用できる。しかも、不織布内部で生成した水酸化物イオンbは、水の移動に伴って、容易に陽極である被加工物へ到達し得る。従って、本発明では、従来法で実現し難かった高電流密度を容易に得ることができる。

【0018】図1~図3は、本発明の超純水中の水酸化物イオンによる加工方法を実現するための加工装置を簡略して示した概念図である。更に詳しくは図4で説明するが、本発明はこれによって限定されるものではない。

【0019】請求項2に記載の発明は、前記触媒部材が、イオン交換能を付与した不織布であることを特徴とする請求項1に記載の電解加工方法である。このような不織布は、適当な纖維径と空隙率を有する不織布に、例えば、 $\gamma$ 線を照射した後グラフト重合を行う所謂放射線グラフト重合法により作製される。なお、触媒部材としては、イオン交換纖維で作った布や、イオン交換基を導入したネット等が挙げられる。前記イオン交換能を付与した不織布のイオン交換基としては、強塩基性アニオン交換基又は、強酸性カチオン交換基とするのが望まし

い。

【0020】不織布と陰極、又は不織布と被加工物（陽極）との間の隙間については、電流値を大きくすることができる点では、両方の極に接触している方が有利であるが、反応生成物が電極と不織布の間に溜まりやすく、加工が不均一になるおそれがある。超純水の流速を上げればそれを解消することができるが、装置の圧損の上昇を避けられないために好ましくない。従って、反応生成物を速やかに被加工物や陰極から取り除くために、不織布と電極、特に被加工物との間に隙間を設けるのが好ましい。隙間の設け方や寸法は加工目的により選択する。

【0021】請求項3に記載の発明は、前記触媒部材を陰極もしくは陽極のいずれか一方に接触させ、かつ残りの一方から離間させて配置することを特徴とする請求項1又は2に記載の電解加工方法である。

【0022】請求項4に記載の発明は、前記触媒部材を、被加工物（陽極）と陰極の両極に接するように被加工物と陰極の間に配置することを特徴とする請求項1又は2に記載の電解加工方法である。

【0023】請求項5に記載の発明は、電解加工を、前記被加工物と陰極の間に超純水を一方向に流しながら行なうことを特徴とする請求項1から4のいずれかに記載の電解加工方法である。これにより、不織布を含む陰極と被加工物の間の超純水の流れの速度を調整することにより、加工目的や被加工物の特性に応じて反応により生成した金属イオン等を確実に除去したり制御することができる。

【0024】請求項6に記載の発明は、超純水を保持する加工槽と、前記加工槽内に陰極と被加工物を担持する手段と、被加工物と陰極の間にイオン交換能を付与した不織布を固定する手段と、陰極と被加工物の間に電圧を印加する手段と、前記加工槽内に超純水を供給する超純水供給装置と、電解加工によって生成した不純物を含む排水を加工槽の外に排出する手段を有することを特徴とする電解加工装置である。

【0025】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を添付図面に基づき詳細に説明する。図4に示すように、この電解加工装置10は、密閉可能な加工槽5と、例えば導入配管11から市水を導入し、これを原水として超純水を製造する超純水供給装置6と、超純水供給装置6から加工槽5へ超純水を供給する供給配管12と、加工槽5からの出口水を超純水供給装置6に戻す戻し配管13と、必要に応じて加工槽5の出口水の一部を系外に排出する排水管14を備えている。

【0026】加工槽5の内部には、陰極1と、これと対向する位置に陽極である被加工物2が所定の支持構造により支持されて配置されている。陰極1と被加工物2の間にはイオン交換材料であるイオン交換能を付与した不織布（触媒部材）3が、加工槽5を区画するように配置

10

されている。加工目的と被加工物2の特性により、不織布3を陰極1と被加工物2の両方に接するように設けるか、不織布3を被加工物2のみに密着させるか、或いは逆に、不織布3を陰極1のみに密着させるようにする。

【0027】このような装置において、超純水供給装置6から、供給配管12を介して加工槽5、戻し配管13へと超純水を循環させつつ、陰極1と陽極である被加工物2に電源36を接続し、両極間に電圧を印加することによって、イオン交換能を付与した不織布3の固体表面での化学反応により生成した水酸化物イオンによって、除去加工または酸化被膜形成加工を行う。これにより、加工槽5内で上向きの流れが形成され、これが不織布3内を流通することにより、水酸化物イオンを多量に生成し、これを被加工物2の表面に供給して効率の良い加工を行なう。

20

【0028】加工槽5から排出される水は、市水に比較して清浄である場合には戻し配管13より超純水供給装置6に戻して用い、また比較的汚れが大きい場合には排水管14より外部に排出して、供給される超純水が常に高純度の水質を維持できるようにする。循環による水温の上昇が考えられる場合は、循環系に熱交換器を配して冷却水にて除熱し、加工時の水温が出来る限り一定となるように制御することは、加工精度を高めるために必要である。

30

【0029】本発明は、超純水以外のケミカルを使用しないので、加工槽5内の汚染は加工工程で発生する反応生成物のみであり、上述した循環処理を行っても、超純水供給装置6にかかる負荷量は極めて少ない。循環処理によって、排水量も低減し、また、薬液の処理も不要であるので、稼動コストを極めて小さく抑えることができる。

40

【0030】図5は、この発明の電解加工装置の他の実施の形態を示すもので、この例では、陰極1と被加工物2とを超純水の流路15の両壁に対向して配置し、その間に流路を塞ぐようにイオン交換能を付与した不織布3を配している。流路は、上流側と下流側の幅広部16、17の間にテーパ状の流路拡大部（縮小部）18、19を介して形成された間の所定長さの狭幅部として形成されている。狭幅部の中央に対向する箇所に、陰極及び被加工物2を保持するための凹所が形成され、その間に不織布を保持する保持機構が設けられている。

50

【0031】不織布3と陰極及び被加工物2との間の隙間の有無やその大きさは、加工目的や被加工物2の特性に応じてそれぞれ設定すればよい。隙間が全く無い場合には、超純水は不織布3の中のみを流れ、隙間が有る場合には、その大きさに応じて分散して流れ。

【0032】この実施の形態では、陰極1、被加工物2及び不織布3を、閉鎖した流路に配置することにより、これらの間の超純水の流れを完全にコントロールできる。すなわち、流れは一方向流であって滞留したり戻っ

たりせず、他に逃げが無いのでその速度は流量調整弁の開度によって一義的に調整することができる。従って、加工目的や被加工物2の特性に応じて流速を設定し、反応により生成した金属イオン等を確実に除去したり制御することができる。

【0033】

【実施例】(実施例1) 図5に示す実験装置を用いて、超純水を流量300ml/minで供給し、両極1、2の間に強酸性カチオン交換能を付与した不織布3を配した。電極1、2は両電極共白金を用い、印加電圧と電流密度との関係を調べた。尚、電極間の距離は0.8mmとし、強酸性カチオン交換能を付与した不織布3を両電極に接触するように配置した。

【0034】強酸性カチオン交換能を付与した不織布3は、繊維径20~50μmで空隙率が約90%のポリオレフィン製の不織布に、γ線を照射した後グラフト重合を行う所謂放射線グラフト重合法により行い、導入したグラフト鎖をスルホン化してスルホン酸基を導入した。この不織布のイオン交換容量は、2.8meq/gであった。

【0035】印加電圧と電流密度の関係を図6に示す。図6の曲線Aに示すように、印加電圧を9.7Vにした時の電流密度が6.6A/cm<sup>2</sup>となり、強酸性カチオン交換能を付与した不織布3を電極間に設置することで、電極間に効率良く電流が流れ、従って、低い印加電圧でも高電流が得られることが確認できた。

【0036】このように、イオン交換能を付与した不織布3では、水が不織布の内部を自由に移動できるため、不織布内部の水分解触媒作用を有する活性点に容易に到達することが可能で、多くの水分子が水素イオンと水酸化物イオンに分解される。さらに電解によって生成した水酸化物イオンが水の移動に伴って効率良く電極表面に運ばれるため、低い印加電圧でも高電流が得られる。

【0037】(比較例1)同じく、図5に示した装置を用いて、強酸性カチオン交換能を付与した不織布の代わりに、従来の方法である強酸性カチオン交換膜(Dupont製Nafion117)を用いて、実施例1と同様の実験を行った。その結果を図6のBに示す。尚、強酸性カチオン交換能を付与した不織布とNafion膜の厚さを0.8mmと同じにするために、Nafion膜を5枚重ねて用いた。

【0038】図6の曲線Bの結果から、印加電圧が約10Vでは、電極間に流れた電流は0.1A/cm<sup>2</sup>程度であり、実施例1の強酸性カチオン交換能を付与した不織布を用いた場合の1/66であった。更に、印加電圧を30V以上としても、電極間に流れた電流は1.5A/cm<sup>2</sup>程度であり、実施例1の結果よりはるかに小さい値であった。

【0039】この結果は、従来用いられているイオン交換膜では、イオン交換膜内部への水の移動がないため、水分解触媒作用を有する活性点に水分子が到達しづらく、膜表面での水分解が大部分であるため、膜内部でも

水分解が可能な不織布を用いた場合と比較して、分解されてイオンとなる水分子が少なくなることを示している。従って、本発明の水の移動が容易に行い得る構造で、かつ、イオン交換能を付与した不織布を用いる方法が、従来のイオン交換膜を用いる方法よりも極めて大きな電流値を、低電圧下で容易に実現できることが確認できた。

【0040】(実施例2)実施例1と同様の装置を用いて、陰極1を白金とし、陽極とする被加工物2としてM<sub>10</sub>及びFeを用い、電極間に強酸性カチオン交換能を付与した不織布3を固定して、電解除去加工を試みた。その結果を図7に示す。

【0041】加工速度は、M<sub>10</sub>及びFeとも電流密度に比例し、ほぼ直線関係が得られた。このことから、被加工物2の表面に水の電解で生成した水酸化物イオンを移動させ、被加工物2と反応させることで除去加工がなされるが、その加工速度は被加工物2の表面への水酸化物イオンの移動量で決定され、電流密度の大きさに支配されていることが確認できた。

【0042】(比較例2)実施例2と同様の試験を、強酸性カチオン交換能を付与した不織布の代わりに、強酸性カチオン交換膜(Nafion)を用いて行った。尚、不織布とNafion膜との厚さを同じにするために、Nafion膜を5枚重ねて用いた。その結果を図7に示す。

【0043】図7から、イオン交換膜であるNafion膜の場合でも、カチオン交換能を付与した不織布を用いた場合と同等の結果となり、加工速度は、水の解離を促進させるイオン交換体の種類にかかわらず、電流密度、すなわち被加工物2の表面への水酸化物イオンの移動量に依存することが確認できた。

【0044】低い印加電圧で、高い電流密度が得られることが、実用上極めて重要であり、従来のイオン交換膜よりも本発明のイオン交換能を付与した不織布を用いる方法が、数倍から数十倍の電流密度が容易に得ることができ、本発明の優位性が証明できた。

【0045】(実施例3)図8に示すように、強酸性カチオン交換能を付与した不織布を陰極に接触させ、かつ陽極(Cu)とは60μm離した状態でCuの除去加工を行った。電流密度0.5A/cm<sup>2</sup>で2分間除去加工を行ったところ、図7に示すように、体積加工速度1.0mm<sup>3</sup>/min、深さ方向の加工速度10μm/minが得られた。この加工速度は、Cuが2価のイオンとして加工されると仮定すると、91%の電流効率に相当する。

【0046】(比較例3)実施例3で用いたものと同じ強酸性カチオン交換能を付与した不織布を陽極と陰極両方に接触させて、Cuの除去加工を行った。電流密度0.5A/cm<sup>2</sup>で2分間除去加工を行ったところ、体積加工速度0.16mm<sup>3</sup>/min、深さ方向の加工速度1.6μm/minが得られた。

【0047】これは実施例3のように陽極(Cu)を非接触

に保った場合と比較して1/6以下の加工速度である。2倍で計算した電流効率も14%と非常に低い。この原因是、電流密度を一定に保つための電圧が加工開始後数十秒後から急激に低下し始めることや、加工後の不織布内に黒色の物質が蓄積されていることから、加工生成物や陰極上での生成物が不織布内に蓄積し、陽極と陰極を短絡してしまうためであると考えられる。上記の比較例から、Cuを加工する場合には陽極と不織布を非接触にして、加工生成物の除去を行うことが加工の継続のために有効であることが分かる。

## 【0048】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の電解加工方法によれば、イオン交換能を付与した不織布の内部に超純水の流れを形成することによって、水酸化物イオンを従来のイオン交換膜等のイオン交換材料より著しく増大生成し、それを電界と超純水の流れによって被加工物表面に効率良く供給することができる。従って、被加工物表面近傍での水酸化物イオンの密度が高くなるとともに、水酸化物イオンと被加工物原子との反応によって生成した加工反応物質を超純水の流れによって被加工物表面から迅速に除去し、常に新しい加工表面を露出させてるので、加工速度が飛躍的に速くなる。

【0049】しかも、水酸化物イオンと被加工物原子の電気化学的作用による加工であるため、被加工物に物理的な欠陥を与えて特性を損なうことなく、また、超純水中での加工であるので外界からの不純物による汚染を防止することができ、高い品質の加工品を提供することができる。更に超純水のみを使用するため、廃液処理への負荷が極めて小さくて済み、加工コストの大幅な低減も可能である。

## 【図面の簡単な説明】

\* 【図1】電解加工の原理を説明するための概念図である。

【図2】従来の方法の加工原理を説明するための概念図である。

【図3】本発明の加工原理を従来の方法と比較して説明するための概念図である。

【図4】本発明の電解加工装置の第1の実施の形態の断面図である。

10 【図5】本発明の電解加工試験装置の他の実施の形態の断面図である。

【図6】図5の装置を用いた第1の実施例の結果の印加電圧と電解電流密度との関係を示すグラフである。

【図7】図5の装置を用いた第2及び第3の実施例の結果の電流密度と加工速度との関係を示すグラフである。

【図8】図5の装置を用いた第3の実施例の工程を示す図である。

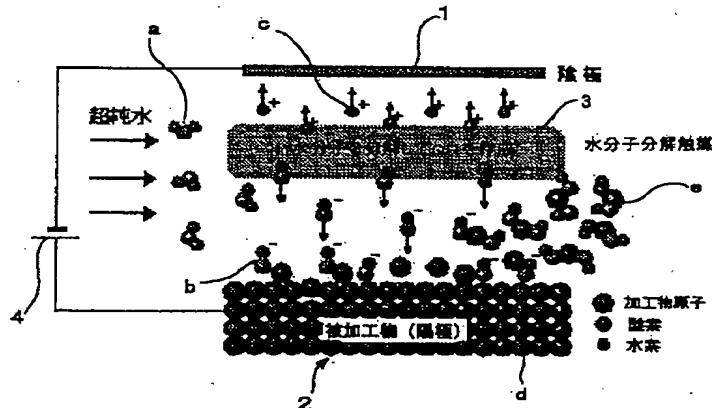
## 【符号の説明】

- a 水分子
- b 水酸化物イオン
- c 水素イオン
- d 被加工物原子
- e 加工反応物
- 1 陰極
- 2 被加工物（陽極）
- 3 イオン交換材料
- 3a イオン交換膜
- 3b イオン交換機能を付与した不織布
- 4 電源
- 5 加工槽
- 6 超純水供給装置

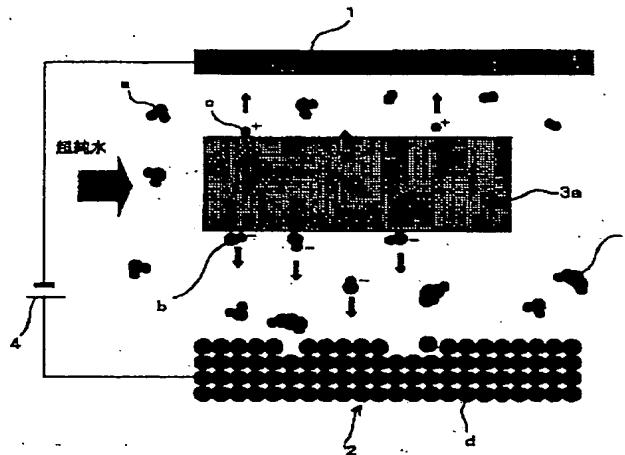
30

\*

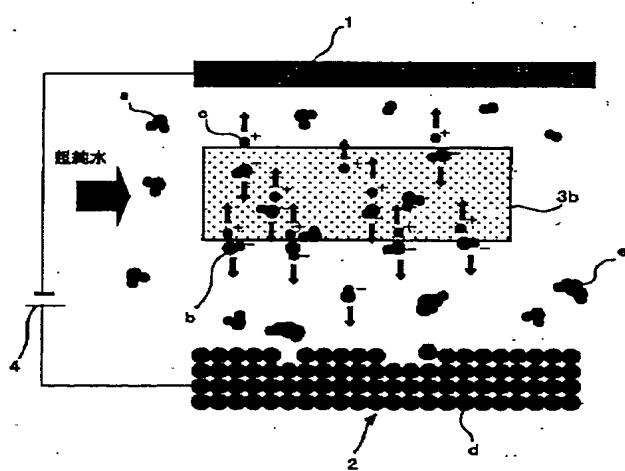
## 【図1】



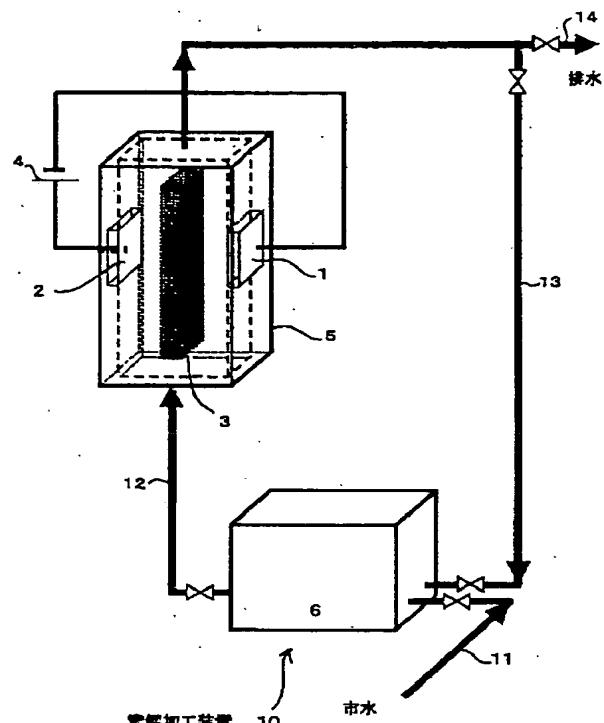
[図2]



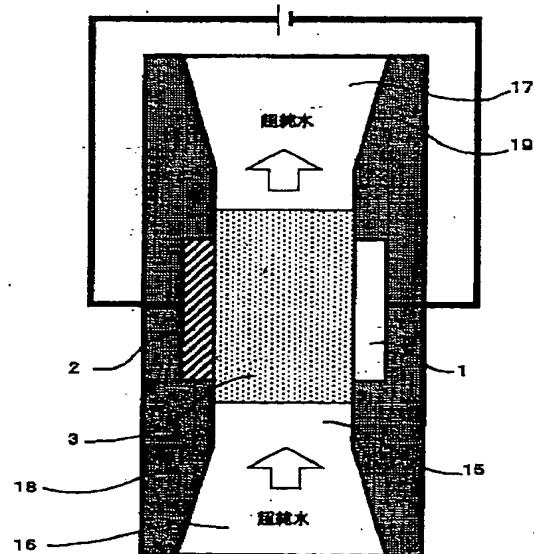
[図3]



[図4]



[図5]



[図6]

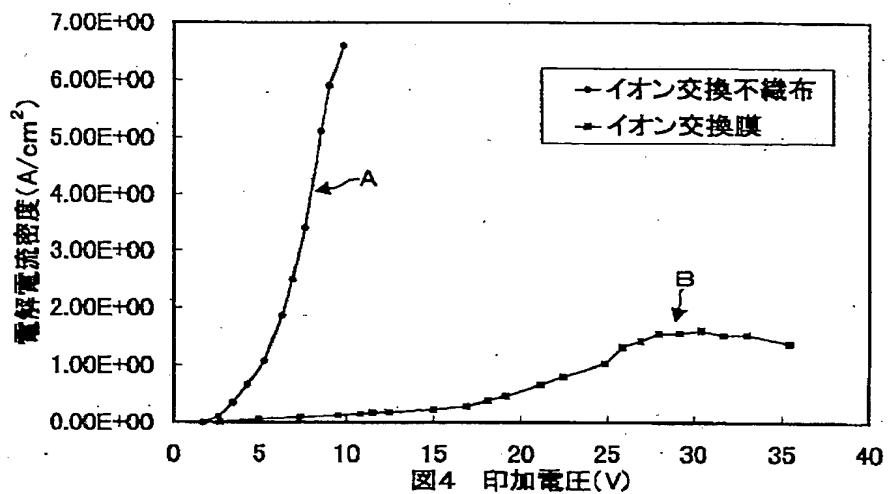
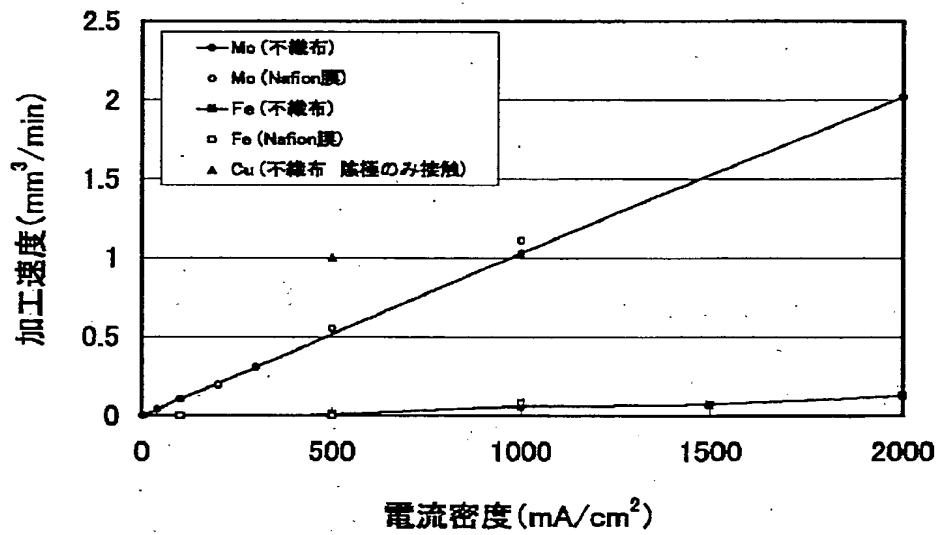
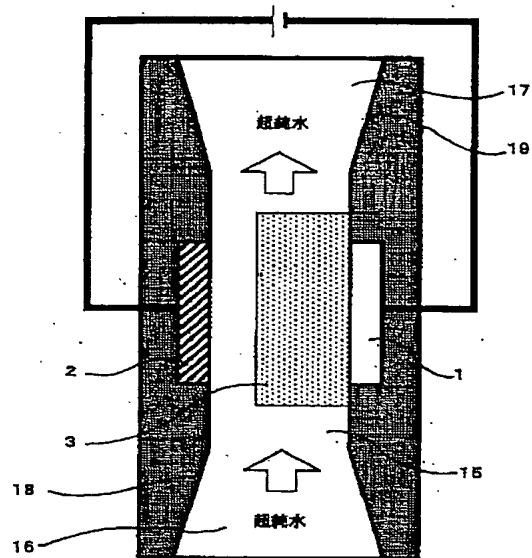


図4 印加電圧(V)

[図7]



[図8]



## フロントページの続き

(72)発明者 斎藤 孝行

神奈川県藤沢市本藤沢4丁目2番1号 株  
式会社荏原総合研究所内

(72)発明者 當間 康

神奈川県藤沢市本藤沢4丁目2番1号 株  
式会社荏原総合研究所内

(72)発明者 福永 明

東京都大田区羽田旭町11番1号 株式会社  
荏原製作所内

(72)発明者 小畠 厳貴

東京都大田区羽田旭町11番1号 株式会社  
荏原製作所内

F ターム(参考) 3C059 AA02 CB10 CJ04 EA02 EA08

EC02 EC07 JA05

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**